Etapas en el desarrollo de un proyecto.

Etapa	Precisión	Estimado
Visualización	-50% +100%	Estimado Clase V
Ingeniería Conceptual	-30% +50%	Estimado Clase IV
	-20% +30%	Estimado Clase III
Ingeniería Básica	-15% +20%	Estimado Clase II
Ingeniería de Detalle	-10% +15%	Estimado Clase I

Procura → **Construcción** → **Puesta en Marcha**

Estimación de Costos.

- **Objetivo General:**

  Conocer los métodos sistemáticos para la estimación de la inversión de capital y de los costos de producción en un nuevo esquema de proceso.

- **Objetivos Específicos:**
  - Estimar costos de equipos y plantas (Método Factorial)
  - Estimar costos de producción.

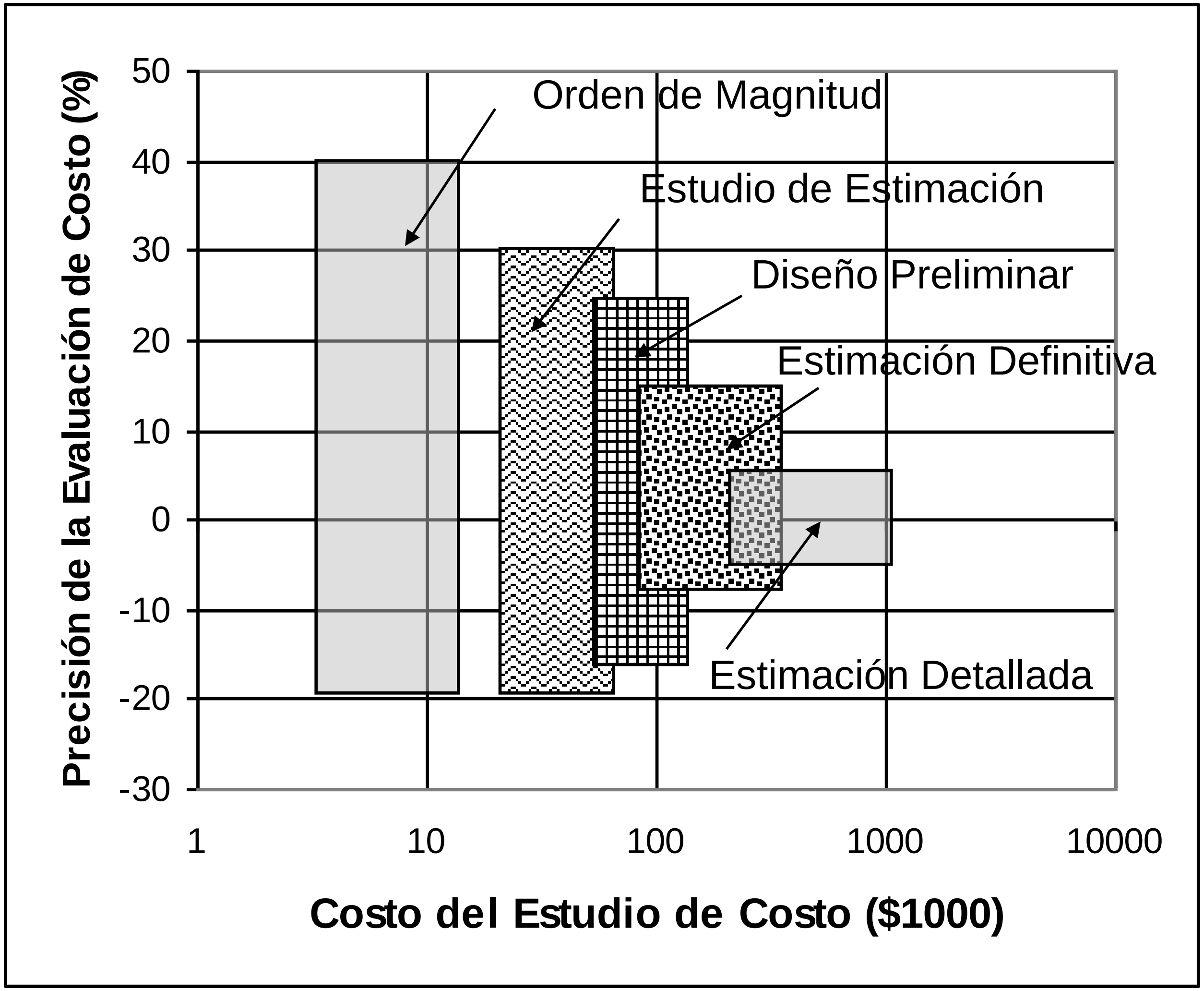
Estimación de Costos

Bibliografía:

- Happel & Jordan. *Economía de los Procesos Químicos.1981.*
- Turton, et. al. *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. 1998.*
- Rudd & Watson. *Estrategias en Ingeniería de Procesos. 1976.*
- Walas. *Chemical Process Equipmen. 1984*
- Perry et al. *Chemical Engineers Handbook.*
- Peter & Timmerhaus. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers.*
- Revistas: *Chemical Engineering*

  Chemical Engineering Progress.

Clasificación de las estimaciónes de costo



Estimaciones de costo.

	Datos Requeridos	Diagramas	Precisión de la Estimación	Costo de la Estimación ($)
Orden de Magnitud	Comparación con plantas similares construidas. Factores de escala, capacidad, inflación.	BFD	+ 40% a – 20%	3.000 a 15.000
Estudio de Costo	Listado de equipos mayores (capacidad, materiales de construcción, etc). Factores y correlaciones para estimación de costo por método factorial.	PDF	+ 30% a –20%	20.000 a 65.000
Diseño Preliminar	Especificaciones de todos los equipos (espesores, materiales, etc.), instrumentación, servicios (electricidad, refrigeración, etc)	PDF. Diseño mecánico. Plano de planta. Elevaciones	+ 25% a – 15%	54.000 a 140.000
Estimación Definitiva	Anteriores mas ofertas de equipos y servicios para instalación.	Anteriores mas P&ID preliminar.	+ 15% a –7%	85.000 a 345.000
Estimación Detallada	Ingeniería de detalle.	PDF, P&ID, Diagramas isométricos.	+ 6% a -4%	250.000 a 1.100.000

Estimación Orden de Magnitud.

Basado en recopilación de inmovilizado en sistemas de proceso completos.

$$I = I_B \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^M$$

I : Costo estimado para proceso de capacidad Q

I_B: Costo de referencia para una capacidad conocida Q_B

M: Pendiente de la línea de correlación en representención log-log.

Ref: H. Bauman: Fundamentals of Cost Engineering in Chemical Industry. 1964.

Debe efecturase actualización del costo según índices de precio.

TABLA 10. Coste de plantas de proceso completas *

Planta	*Tamaño*	*Unidad*	*Coste* 1962 (1 000 $)	*Intervalo de tamaños*	*Exponente*
Acetileno (de gas natural)	10	tons/día	2 000	10 -100	0,73
Sulfato de aluminio (alumbre)	25	tons/día	375	25 -100	0,71
Amoniaco (de gas natural)	100	tons/día	3 000	100 -300	0,63
Amoniaco (de gas de horno alto)	100	tons/día	4 000	100 -300	0,53
Nitrato amónico	50	tons/día	630	50 -300	0,65
Sulfato amónico	100	tons/día	1 100	100 -300	0,65
Butadieno	5M	tons/año	370	5M -400M	0,65
Alcohol butílico (*n*-butanol)	4M	tons/año	600	4M -350M	0,55
Dióxido de carbono	50	tons/día	450	50 -300	0,67
Hidróxido sódico	4M	tons/año	3 500	4M -300M	0,38
Cloro (electrolítico)	5M	tons/año	4 000	5M -300M	0,38
Diciandiamida	20	tons/día	1 500	20 -100	0,43
Etanol (sintético)	1,3M	tons/año	1 300	1,3M -100M	0,60
Etileno	11M	tons/año	2 600	11M -370M	0,71
Oxido de etileno (incluyendo manufactura de glicol)	1,5M	tons/año	830	1,5M -100M	0,78
Formaldehído (100 por 100)	25	tons/día	900	25 -100	0,56
Cloruro de hidrógeno anhidro (99,5 por 100)	10	tons/día	90	10 - 20	0,60
Acido clorhídrico	50	tons/día	130	50 -130	0,60
Cianuro de hidrógeno	10	tons/día	1 800	10 - 50	0,52
Fluoruro de hidrógeno (anhidro)	10	tons/día	900	10 - 50	0,68
Hidrógeno (de gas natural)	30M	m^3N/día	410	30M -300M	0,57
Hidrógeno (de gas natural)	300M	m^3N/día	1 400	300M - 1,5MM	0,68
Alcohol isopropílico	15MM	litros/año	2 400	15MM-500MM	0,60
Alumbre líquido	20	tons/día	320	20 -100	0,71
Anhídrido maleico	10	tons/día	4 000	10 - 25	0,61
Melamina (de diciandiamida)	15	tons/día	2 100	15 -150	0,70
Metanol	50MM	tons/día	2 000	50MM-300MM	0,75
Acido nítrico	50	tons/día	820	50 -300	0,55
Oxígeno	20	tons/día	430	20 - 1M	0,56
Acido fosfórico (de 54 por 100, incluyendo concentración)	50	tons/día	1 100	50 -300	0,63
Polietileno (alta presión)	2,5M	tons/año	3 000	2,5M - 90M	0,67
Polietileno (baja presión)	3M	tons/año	2 200	3M - 70M	0,90
Estireno	2M	tons/año	1 150	2M -100M	0,63
Acido sulfúrico (contacto)	50	tons/día	300	50 - 1M	0,70
Dióxido de titanio	10	tons/día	3 400	10 -100	0,61
Urea	150	tons/día	3 700	100 -300	0,70

* De H. C. Bauman: *Fundamentals of Cost Engineering in the Chemical Industry* Reinhold, Nueva York, 1964.
Abreviaturas: $M=10^3$; $MM=10^6$; m^3N/día, m^3 en condiciones normales por día.

Indices de costo.

- ***Engineering News-Record Index.* (1913 = 100)**
  - Publicación de *Engineering News-Record*.

    Industria de la construcción. Ponderación de costos del acero, madera, cemento y mano de obra.
- ***Marshall & Stevens Index.* (1926 = 100)**
  - Publicado regularmente en *Chemical Engineering*.

    Redefinido como Marshall & Swift, es un promedio ponderado de costo de equipos en ocho diferentes industrias de procesos.
- ***Indice de precios al por mayor*. (1958 = 100)**
  - Dpto. Comercio de EEUU publicado en *Business Statistics*.

    En conjunto con *Consumer Price Index* es una medida del poder de compra de dólar estadounidense.

Chemical Engineering Plant Cost Index. (1957 = 100)

Publicado regularmente en *Chemical Engineering*

Aspectos consdierados en la definición del *Chemical Engineering Plant Cost Index*.

Componente del Indice	Peso en la determinación (%)
Equipos, maquinarias y estructura	
Fabricantes de equipos	37
Procesos de mecanizado	14
Tuberías, válvulas y conexiones	20
Instrumentación y control	7
Bombas y compresores	7
Equipamiento eléctrico y materiales	5
Estructuras, soportes, instalaciones y pintura	10
	100%
	61% del total
Labores de instalación y levantamiento	**22**
Edificaciones y materiales	**7**
Ingeniería y supervisión	**10**

Año	Marshell & Swift Equipment Cost Index (1926 = 100)	Chemical Engineering Plant Cost Index (1957 = 100)
1978	552	219
1979	607	239
1980	675	261
1981	745	297
1982	774	314
1983	786	317
1984	806	323
1985	813	325
1986	817	318
1987	814	324
1988	852	343
1989	895	355
1990	915	358
1991	931	361
1992	943	358
1993	964	359
1994	993	368
1995	1028	381
1996	1039	382
1997	1057	387
1998	1062	390
1999	1068	391
2000	1089	394
2001	1093	394
2002		396
2003		398

Nelson-Farrar Refinery Construction Index. (1946 = 100)

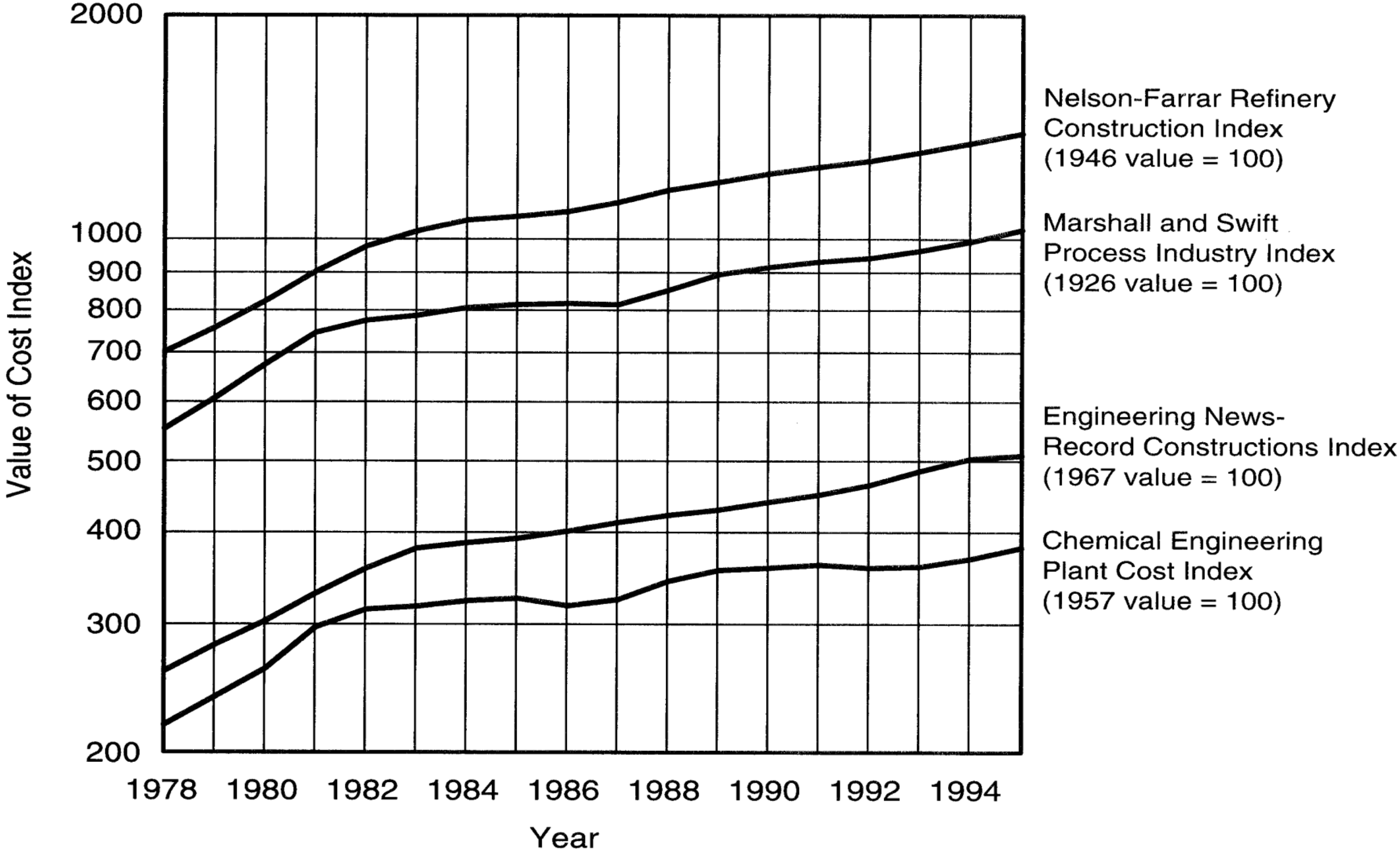
Publicado mensualmente en *Oil and Gas Journal.*

Aspectos consdierados en la definición del *Nelson-Farrar Refinery Construction Index.*

Componente del Indice	Peso en la categoría (%)	Peso total en Indice (%)
Materiales y Equipos		
Hierro y Acero	50	20
Materiales de construcción	20	8
Equipos misceláneos	30	12
Labor		
Labor clasificada	65	39
Labor común	35	21

Sus componentes comprenden sólo costos directos; no incluye costos indirectos (construcción e ingeniería).

Indices de costo "vs" tiempo.



Al usar Indices tenga en cuenta que...

- Representan valores promedios estadísticos.
- Utilizan precios de lista, por lo que no son indicativos de los precios reales de compra (descuento por cantidad, descuento por compra a cliente fijo, etc.)
- No reflejan cambios/mejoras en las tecnologías y en los métodos de fabricación.
- Relacionan costos actuales con costos históricos, por lo que no permiten estimar costos futuros.
- No deben ser utilizados para actualizaciones en períodos mayores de 10 ó 15 años; la mayoria de datos de costo por encima de este período es obsoleta.

Efecto del tiempo sobre el costo de compra del equipo

$$\text{Costo Hoy} = \text{Costo base}\left(\frac{\text{Valor actual del Indice}}{\text{Valor del Indice para costo base}}\right)$$

En lo posible debe preferirse el Indice referido en la correlación para la estimación de costo del equipo.

Ejemplo:

Costo intercambiador 500 m² = 25.000 $ (1978)

Indice	***M&S***	***PCI***
1978	*552*	*219*
2001	*1093*	*394*
Costo en 2001:		
	49.502	*44.977*

Diferencia Promedio: $(\Delta C/C_{promedio})*100$

9,6 % < error estimación

Relación Costo-Tamaño de equipo

Dado por: $$\frac{C_a}{C_b} = \left(\frac{A_a}{A_b} \right)^M$$

equivalente a: $$C_a = K(A_a)^M$$

A = *atributo de costo del equipo*

C = *Costo de compra*

M = *exponente de costo*

donde $K = C_b / (A_b)^M$

a = *equipo con los atributos requeridos*

b = *equipo de referencia*

Tipo de Equipo	Unidades de capacidad	Intervalo validez de la correlación	Exponente de costo
Compresor reciprocante	kW	220 a 3000	0,70
Intercambiador de calor de tubo y carcaza en acero al carbón	m^2	5 a 50	0,44
Tanque vertical en acero al carbón	m^3	1 a 40	0,52
Hervidor con revestimiento vítreo	m^3	3 a 10	0,65
Filtro prensa	m^2	1 a 25	0,85
Recipientes a presión no calentados en acero al carbón	kg kg	1500 a 3000 15000 a 45000	0,60 0,80
Bombas centrífugas	HP	10 a 25 25 a 100	0,68 0,86

Fuente: Turton / Bauman

Correlaciones típicas para costo de equipos.

TABLA 9. **Correlaciones típicas para el coste de equipo**

Aparato	*Tamaño, Q_B*	*Coste, I_B, $* (1961)	*Intervalo de tamaño*	*M*
Soplantes				
0,1 atm	2 m³/min	360	2-40	0,46
0,5 atm	40	6 900	40-170	0,35
Caldera para aprovechar calor residual	500 kg vapor/h	2 800	500-200	0,90
	2 000 kg/h	9 800	2 000-10 000	0,67
Centrífuga				
Acero al carbono	cesta de 1 m	28 700	1-1,6	0,81
Acero inoxidable	1 m	43 000	1-1,6	0,63
Compresor de aire accionado por turbina de vapor	240 HP	80 000	240-2 000	0,29
Cinta transportadora	18 m²	7 000	18-110	0,81
Cristalizador (tipo crecimiento)	10 ton/día	22 100	10-1 000	0,63
Secadores				
Cilindro (atm)	5 m²	11 600	5-35	0,63
Cilindro (vacío)	3 m²	31 000	3-15	0,86
Tornillo sin fin	1,5 m²	6 400	1,5-25	0,53
Evaporadores				
Película descendente	0,3 m²	9 200	0,3-0,8	0,24
	0,8 m²	11 200	0,8-3	0,36
	3 m²	17 900	3-6	0,55
	6 m²	26 300	6-15	0,67
Filtro prensa	1 m²	800	1-25	0,85
Cambiadores de calor				
Carcasa y tubos	5 m²	1 350	5-25	0,48
Tubo con aletas	65 m²	5 400	65-300	0,58
Placas	1,5 m²	45	1,5-4	0,52
Calderín	35 m²	4 070	35-50	0,25
Caldera (encamisada)				
Fundición	1 m³	5 800	1-3	0,24
Vitrificada	3 m³	9 900	3-10	0,65
Mezclador (hélice marina)	15 HP	3 900	15-25	0,19

TABLA 9. *(Cont.)*

Aparato	*Tamaño, Q_B*	*Coste, I_B, $* (1961)	*Intervalo de tamaño*	*M*
Recipiente a presión no calentado				
Aceros al carbono	1 500 kg	1 060	1 500-3 000	0,60
	15 000 kg	4 830	15 000-45 000	0,80
Recubiertos de caucho	3 m³	1 730	3-5	0,54
Bombas centrífugas				
Aleación	10 HP	1 300	10-25	0,68
	25 HP	2 480	25-100	0,86
Reactores				0,41
Vitrificado	200 litros	1 000	200-1 200	
Vitrificado y encamisado	1 m³	2 100	1-9	0,69
Unidades de refrigeración				
4 °C	7 ton	4 200	7-4 000	0,72
−7 °C	7	5 100	7-4 000	0,72
−18 °C	7	7 000	7-4 000	0,72
−30 °C	7	9 600	7-4 000	0,72
Tanques				
Acero al carbono	1 200 litros	240	1 200-5 000	0,66
Acero inoxidable	600 litros	730	600-2 000	0,69
Columnas de relleno	3 000 kg	2 900	3 000-9 000	0,79
Acero al carbono	9 000 kg	7 600	9 000-14 000	0,71
Columnas de pisos				
Pisos tamiz	1 m diámetro	50	1-2	1,63

* Selección de la obra de H. C. BAUMAN: *Fundamentals of Cost Engineering*. Reinhold Book Corp., subsidiaria de Chapman-Reinhold, Inc. Nueva York, 1964.

Etapas del Estudio de Costos

1. Trazar PDF mostrando equipos principales:

   Incluir balance de masa y energía así como condiciones de operación. Lista de equipos.
   (Ref: Chemical Engineers´Handbook)

2. Dimensionamiento de equipos.

   Cálculo aproximado o preciso basado en conceptos de OP. Unitarias.
   (Ref: Métodos Aproximados para el Diseño de Equipso)

3. Estimación preliminar de costo:
   - Estimación costo de compra de equipos y del costo total instalado "listo para arrancar".
     - » *Método Factorial*
   - Estimación costos de producción.

Costo de equipos individuales.
Generalidades.

- *Correlaciones empíricas (ecuaciones y/o gráficas) para cada tipo de equipo, en base a propiedad característica.*
  - El tratamiento del efecto del material de consturcción y condiciones de operación (presión) puede estar incluido en la correlación de formas distintas.

Ejemplo:

Walas. *Chemical Process Equipmen*

$$C = f\,(\text{Tipo; Material; Cond. Operación})$$

Turton et al. *Analysis, Synthesis, and Design of Cemical Processes.*

$$C = f_{Material}\; f_{\text{Cond.Operación}}\; C_{Base:\,\text{CS@1atm}}$$

$$f_{Material} \text{ y } f_{\text{Cond.Operación}} \text{ dependen del equipo}$$

Costo de equipos individuales.
Generalidades. Cont...

- ***Programa CAPCOST Turton et al.***

Costo compra del equipo: $\log_{10} C_P = K_1 + K_2 \log_{10} A + K_3 (\log_{10} A)^2$

Siendo *"A"* la capacidad o algún parámetro de tamaño del equipo.

Factor de presión: $\log_{10} F_P = C_1 + C_2 \log_{10} P + C_3 (\log_{10} P)^2$

con P en barg.

Factor de material dependiente del material de construcción.

F^o_{BM} = *f* (Factor de Material x Factor de Presión)

Costo del equipo: $C^o_{BM} = C_P F^o_{BM} = C_P (B_1 + B_2 F_M F_P)$

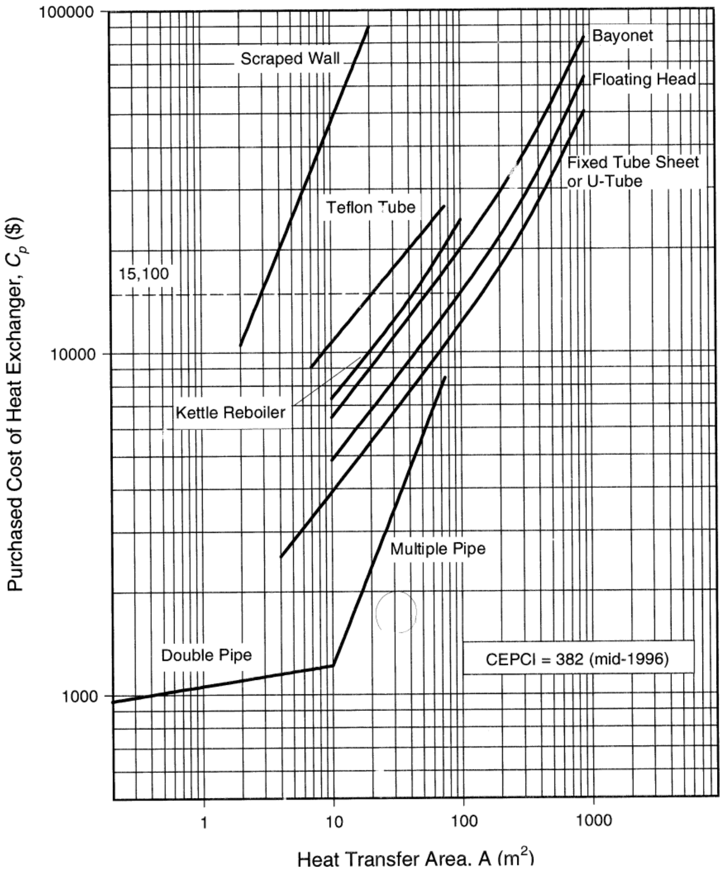
con B_1 y B_2 conocidos por equipo.

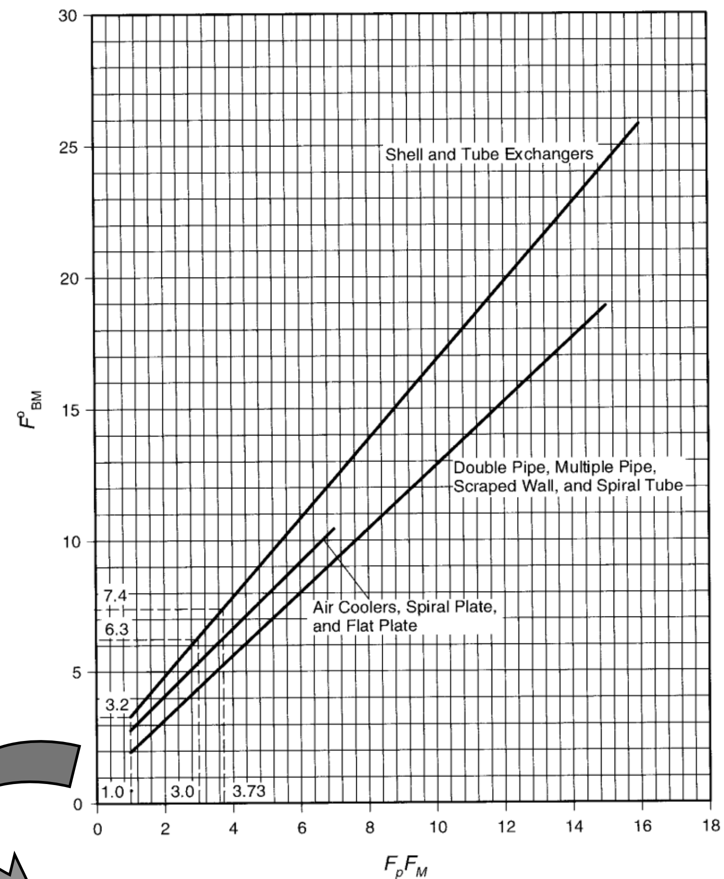
Y a partir de estos se estima el costo final de la planta:

$$C_{TM} = 1{,}18 \sum_{i=1}^{n} C^o_{BM} \quad y \quad C_{GR} = C_{TM} + 0{,}35 \sum_{i=1}^{n} C_{BM,i}$$

Ejemplo: Costo de Intercambiador

❶ *Determinar costo de compra (función del tipo y área)*





❸ *Determinar costo instalado*

Ejemplo: Costo de Intercambiador

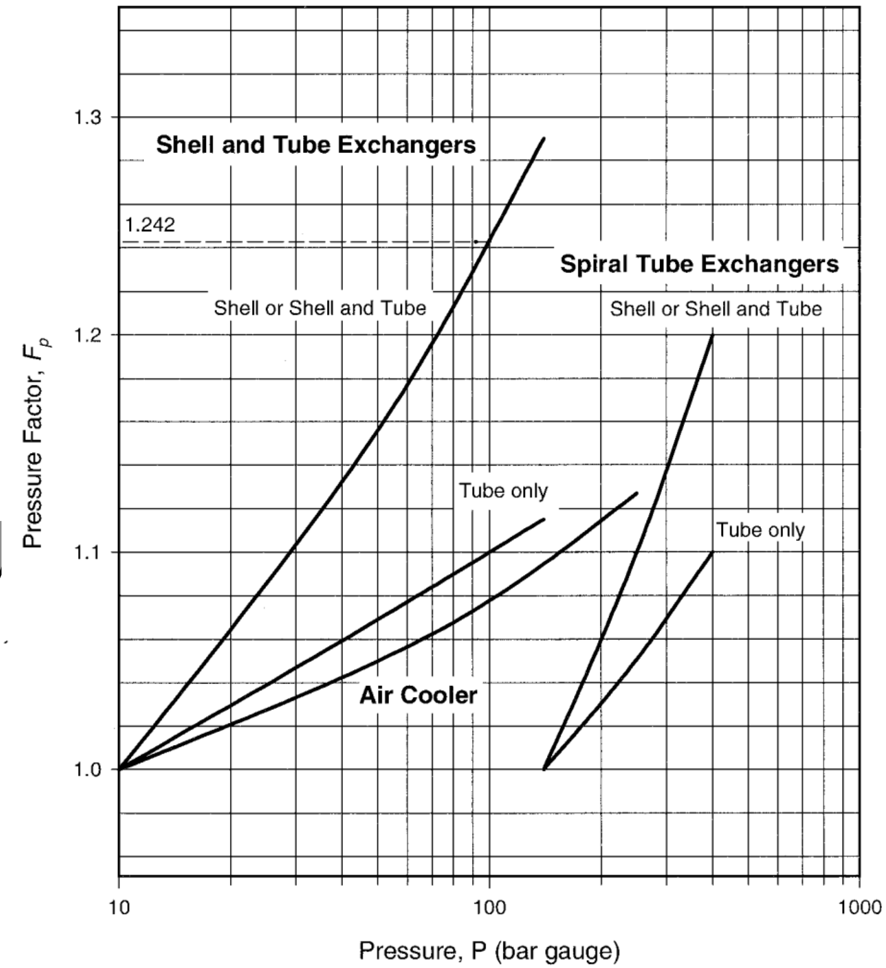
❷ *Corregir costo por efecto de material y condiciones de presión*

Table 2.9 Material Factors Floating Head Heat Exchangers (From Table A.2 and references [4] and [7])

Shell Material	Tube Material	Material Factor, F_M
Carbon steel (CS)	Carbon steel (CS)	1.00
Carbon steel (CS)	Copper (Cu)	1.25
Copper (Cu)	Copper (Cu)	1.60
Carbon steel (CS)	Stainless steel (SS)	1.70
Stainless steel (SS)	Stainless steel (SS)	3.00
Carbon steel (CS)	Nickel alloy (Ni)	2.80
Nickel alloy (Ni)	Nickel alloy (Ni)	3.80
Carbon steel (CS)	Titanium (Ti)	7.20
Titanium (Ti)	Titanium (Ti)	12.00

$f_{\text{Material}} \quad * \quad f_{\text{Presión}}$

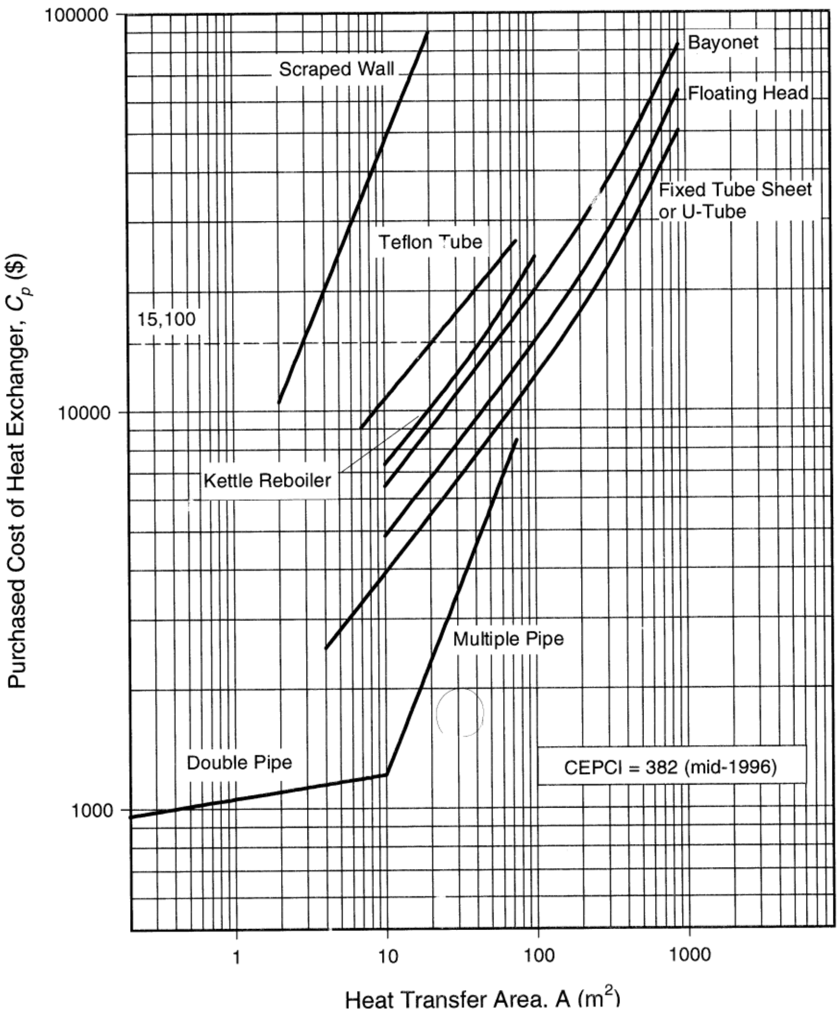
Emplearlo para determinar factor multiplicador de costos de instalación



Costo de equipos individuales.

Intercambiadores de calor.

Base: CEP Cost Index = 325 (1985)



11. Heat exchangers

Shell-and-tube (Evans): $C = f_d f_m f_p C_b$, price in $

$$C_b = \exp[8.821 - 0.30863(\ln A) + 0.0681(\ln A)^2], \quad 150 < A < 12{,}000 \text{ sqft}$$

Type	f_d
Fixed-head	$\exp[-1.1156 + 0.0906(\ln A)]$
Kettle reboiler	1.35
U-tube	$\exp[-0.9816 + 0.0830(\ln A)]$

Pressure Range (psig)	f_p
100–300	$0.7771 + 0.04981(\ln A)$
300–600	$1.0305 + 0.07140(\ln A)$
600–900	$1.1400 + 0.12088(\ln A)$

$f_m = g_1 + g_2(\ln A)$

Material	g_1	g_2
Stainless steel 316	0.8603	0.23296
Stainless steel 304	0.8193	0.15984
Stainless steel 347	0.6116	0.22186
Nickel 200	1.5092	0.60859
Monel 400	1.2989	0.43377
Inconel 600	1.2040	0.50764
Incoloy 825	1.1854	0.49706
Titanium	1.5420	0.42913
Hastelloy	0.1549	0.51774

Double pipe (IFP): $C = 900 f_m f_p A^{0.18}$, $2 < A < 60$ sqft, price in $

Material: Shell/Tube	f_m
cs/cs	1.0
cs/304L stainless	1.9
cs/316 stainless	2.2

Pressure (bar)	f_p
≤4	1.00
4–6	1.10
6–7	1.25

Air coolers (Hall): $C = 24.6A^{0.40}$, $0.05 < A < 200$ K sqft, price in K$

Costo de equipos individuales.
Agitadores

$$C(k\$) = \exp\left[a + b\ln HP + c(\ln HP)^2\right] \qquad 1 < HP < 400$$

Base: CEP Cost Index = 325 (1985)

		Propela Simple			**Propela Doble**		
Velocidad		1	2	3	1	2	3
Acero al carbón	a	8,57	8,43	8,31	8,80	8,50	8,43
	b	0,1195	- 0,0880	- 0,1368	0,1603	0,0257	- 0,1981
	c	0,0819	0,1123	0,1015	0,0659	0,0878	0,1239
Acero 316	a	8,82	8,55	8,52	9,25	8,82	8,72
	b	0,2474	0,0308	- 0,1802	0,2801	0,1235	- 0,1225
	c	0,0654	0,0943	0,1158	0,0542	0,0818	0,1075

Velocidad 1: 30; 37 y 45 rpm
2: 56; 68; 84 y 100 rpm
3: 125; 155; 190 y 230 rpm

Fuente: Meyers & Kime, Chem. Eng., 109-112, (27 Sep. 1976)

Costo de equipos individuales.

Torre de platos: Destilación

$$C(\$) = f_1 C_b + N f_2 f_3 f_4 C_t + C_{p1}$$

$$C_b = \exp\left[7{,}123 + 0{,}1478 \ln W + 0{,}02488 (\ln W)^2 + 0{,}0158 (L/D) \ln(T_b/T_p)\right]$$

$$9020 < W < 2470000\ lb$$

$$C_t = 375{,}8 \exp(0{,}1739 D) \quad 2 < D < 16\ ft$$

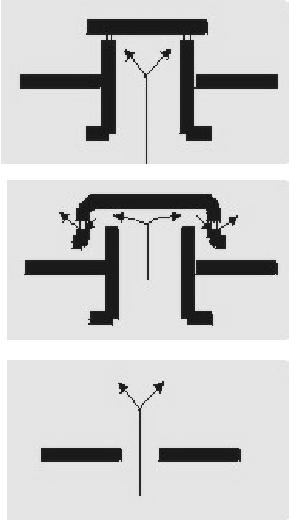
$$N = \text{número de platos}$$

$$C_{p1} = 204{,}9 D^{0{,}6332} L^{0{,}8016} \quad 2 < D < 24 \quad \& \quad 57 < L < 170\ ft$$

Material	f_1	f_2
Stainless steel, 304	1,7	1,189 + 0,0577 D
Stainless steel, 316	2,1	1,401 + 0,0724 D
Carpenter 20CB-3	3,2	1,525 + 0,0788 D
Nickel-200	5,4	
Monel-400	3,6	2,306 + 0,1120 D
Iconel-600	3,9	
Iconel-825	3,7	
Titanium	7,7	

$$f_4 = \frac{2{,}25}{1{,}0414^N} \quad \text{si } N < 20$$

Tipo de Plato	f_3
Valve	1,00
Grid	0,80
Bubble cap	1,59
Sieve (with downcomer)	0,95



Base: CEP Cost Index = 325 (1985)

Fuente: Evans et al., Chemical Engineering Magazine, Modern Cost Engineering II. 1984

Costo CIF de los equipos de planta

Basado en costo FOB de la planta:

- **Flete terrestre y despacho:** 10%
  - » Costo en puerto de embarque = 1,1 * FOB
- **Flete marítimo a puerto venezolano:** 20%
  - » Costo en puerto venezolano = (1,1 + 0,2) * FOB
- **Seguro:**

  0,55% Costo en puerto venezolano
- **Impuesto de importación:**

  16,5% Costo en puerto venezolano

CIF = 2,2165 *FOB

Fuentes de datos sobre costos.

- Bases de datos de las compañias.
- Literatura de Ingeniería Química
  - Chemical Engineering: 1960 / 1970 / 1980 / 1900 / 2000
    Compilación artículos de costo e indices.
  - Hydrocarbon Processing; Petroleum Refiner; Oil & Gas Journal; Industrial and Engineering Chemistry.
  - Baunan. *Fundamentals of Cost Engineering in the Chemical Industry*.

• ***Deben ser utilizadas con discreción***
• ***Rebuscar y escoger entre las publicaciones aplicando conocimientos y criterios basados en la experiencia.***

Selección de materiales de construcción.

	Construction Material				
	Steels		Other Metals and Alloys		
	Carbon Steel (cs) and Alloy Steel (as)	Stainless Steels (ss)	Aluminum-Based (Al)	Copper-Based (Cu)	Nickel-Based (Ni)
Temperature (°C): Exposure	0 200 400 600	−200 0 200 400 600 800	−200 0 200	−200 0 200	−200 0 200 400 600
Aqueous Solutions					
Acetates	XXXX	AAAA	AAAA	AAAA	BBBB
Ammonium salts	BDDE	AAAA	BBCC	DEXX	AABC
Carbonates	BBBB	AAAA	DDEE	AABC	BBCC
Chlorides	DDEX	CCCD	DDEE	AACC	CCCC
Nitrates and nitrites	AABB	AAAA	BBDD	BBCD	AABC
Sulfates and Sulfites	BBBB	AAAA			
Water					
Boiler feed	AAA	AAA	CCC	AAA	AAA
Brackish	XXX	BBC	XXX	ABD	AAA
Cooling tower	AAA	AAA	CCC	AAA	AAA
Fresh	XXX	AAA	XXX	ABD	AAA
Sea	XXX	CCD	XXX	CCC	AAA
Temperature (°C):	0 200 400 600	−200 0 200 400 600 800	−200 0 200	−200 0 200	−200 0 200 400 600

Plásticos fluorocarbonados
Materiales especiales de alto costo
Revestimientos vitreos

KEY

A excellent or no limitations; B modest limitations; C special materials available at higher cost to minimize problems; D limited in this regard; E severely limited in this regard; X unacceptable

Estimación Costo final de la Planta: Método Factorial.

- Existen por lo menos tres métodos para estimar el costo final de la planta a partir de los costos de compra de los equipos:
  - Método de Happel
  - Factores de Lang
  - Suma de todos los costos de los equipos instalados, basado en los trabajos de Guthrie (Turton et al.)

Estimación Costo final de la Planta
Método Factorial.

A partir de evaluación del inmovolizado para elementos principales del proceso (*Cuentas clave*)

$$I_F = \left[I_E + \left(\sum_i f_i I_E \right) \right] f_I$$

I_F = Inmovilizado para el sistema completo (Costo planta listo para arrancar)

I_E = Inmovilizado en equipos principales (Costo equipos)

f_i = Factores de proporcionalidad para costos de tuberías, aislamientos, instrumentación, edificaciones, cimentaciones, etc.

f_I = Factor para estimación de gastos indirectos (Honorarios de ingeniería, costos de construccion, contingencias, etc)

Factores para estimar costo de planta.

Método Factorial

COSTO DEL EQUIPO INSTALADO	f_i
Tubería de proceso	
Proceso de manipulación de sólidos	0,07 – 0,10
Proceso mixto (sólidos y fluidos)	0,10 – 0,30
Proceso que manipulan fluidos	0,30 – 0,60
Instrumentación	
Control poco automatizado	0,02 – 0,05
Automatización parcial	0,05 – 0,10
Control complejo y/o centralizado	0,10 – 0,15
Edificios de fabricación	
Construcciones abiertas	0,05 – 0,20
Construcciones semiabiertas	0,20 – 0,60
Construcciones cerradas	0,60 – 1,00
Plantas de servicios	
Escasa adición a las existentes	0,00 – 0,05
Adición considerable a la existente	0,05 – 0,25
Planta de servicios totalmente nueva	0,25 – 1,00
Conexiones entre unidades	
Entre las unidades de servicio	0,00 – 0,05
Entre unidades de proceso separadas	0,05 – 0,15
Entre unidades de proceso dispersas	0,15 – 0,25
COSTO FISICO TOTAL	$I_E\left(1+\sum_i f_i\right)$

FACTORES FRACCION DEL COSTO FISICO	f_{Ii}
Ingeniería y Construcción	
Ingeniería inmediata	0,20 – 0,35
Ingeniería compleja	0,35 – 0,50
Factores de tamaño	
Unidad comercial grande	0,00 – 0,05
Unidad comercial pequeña	0,05 – 0,15
Unidad experimental	0,15 – 0,35
Contingencias	
De la compañía	0,10 – 0,20
Variaciones imprevistas	0,20 – 0,30
Procesos exploratorios	0,30 – 0,50
COSTO TOTAL DE LA PLANTA:	$I_F = I_E\left(1+\sum_i f_i\right) f_I$

Fuente: Arnold & Chilton. *Chem. Eng. 1963*

Estimación Costo final de la Planta

Método Factorial Happel

Concepto	Material	Mano de Obra
Recipientes	A	10% de A
Torres, fabricadas en el terreno	B	30 a 35% de B
Torres prefabricadas	C	10 a 15% de C
Intercambiadores	D	10% de D
Bombas, compresores y otras máquinas	E	10% de E
Instrumentos	F	10 a 15% de F
Otros...	G	
Cuentas Claves (Suma de A a G)	**I_G**	
Aislamiento	H = 5 a 10% de I_G	150% de H
Tuberías	I = 40 a 50% de I_G	100% de I
Cimentaciones	J = 3 a 5% de I_G	150% de J
Edificaciones	K = 4% de I_G	70% de K
Estructuras	L = 4% de I_G	20% de L
Material contra incendios	M = 0,5 a 1% de I_G	500 a 800% de M
Electricidad	N = 3 a 6% de I_G	150% de N
Pintura y Limpieza	O = 0,5 a 1% de I_G	500 a 800 de O
Suma de materiales y Mano de obra	**P**	
Costo de equipos especiales instalados		Q
Suma de P + Q		**R**
Gastos Generales		30% de R
Total de costos de construcción		**130% de R**
Honorarios de Ingeniería (10% del costo de construcción)		13% de R
Pagos por contingencias (10% del costo total de construcción)		13% de R
Inversión Total		**156% de R**

Estimación Costo final de la Planta
Método Factorial: Factor de Lang.

Proporcionalidad entre costo de equipos principales y el inmovilizado en planta lista para arrancar.

$$I_F = f_{Lang} I_E \Rightarrow f_{Lang} = \left(1 + \sum f_i\right) f_I$$

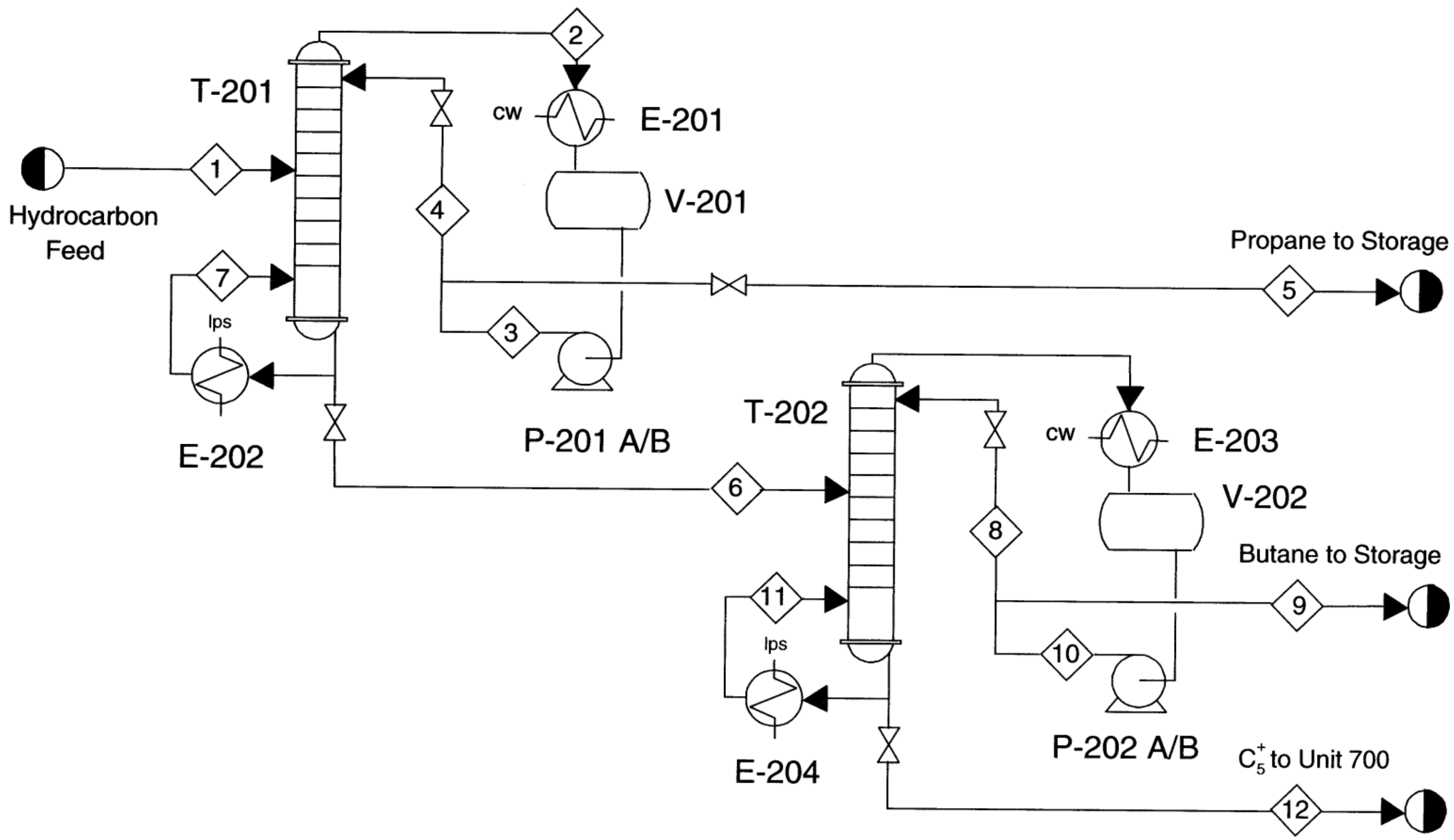
Tipo de planta química	Factor de Lang
Plantas de manipulación de sólidos	3,10
Plantas que incluyen manipulación de sólidos y fluidos	3,63
Planta de manipulación de fluidos	4,74

Ventajas: Método rápido.

Desventaja: Enmascara detalles que deben figurar por separado para su estudio individualizado.

PFD Unidad separación de gases livianos.

T -201	E -201	P- 201 A/B	V - 201	E - 202	T - 202	E- 203	P -202 A/B	V - 201	E - 204
Depropanizer Tower	C3 Overhead Condenser	C3 Reflux Pumps	C3 Reflux Drum	Depropanizer Reboiler	Debutanizer Tower	C4 Tower Condenser	C4 Reflux Pumps	C4 Reflux Drum	Debutanizer Reboiler



Dimensionamiento Rápido de Equipos: Intercambiadores de Calor.

- **Propiedades térmicas de las sustancias.**

  Bases de Datos (Cp; λ; etc.)

  Naturaleza corrosiva del medio ambiente; Incrustaciones, etc.

- **Selección del tipo de Intercambiador.**

- **Balance de Energía y Diseño del Intercambiador.**

  3.1. *Refrigerantes y Condensadores:*

  Temperatura del agua de entrada = 90°F (32°C)

  Aumento de la temperatura del agua = 30°F (16°C)

  U = 150 BTU/hr ft^2 °F (851,7 W/m^2 K)

  3.2. *Rehervidores:*

  ΔT = 45°F (25°C)

  U = 250 BTU/hr ft^2 °F (1419,5 W/m^2 K)

  $$\frac{Q}{A} = U * \Delta T = 11250 \text{ Btu hr}^{-1}\text{ft}^{-2}$$

Dimensionamiento Rápido de Equipos: Columnas de Destilación

- **Datos de equilibrio de fases.**
  - Mezclas azeotrópicas.
  - Presencia de compuestos sensibles al calor.
  - Naturaleza corrosiva del medio ambiente.

  Como primera aproximación puede suponer comportamiento ideal

- **Propiedades térmicas de las sustancias.**

  Bases de Datos (Cp; λ; etc.) ; Ref: *Reid & Sherwood.*

- **Concentración de los fluidos.**
  - Concentración de alimentación, destilado y fondo.

  Primera aproximación: Destilado con 99,5% de pureza

  Fondo 0,1% del liviano

Dimensionamiento Rápido de Equipos: Columnas de Destilación (Cont...)

- **Diseño de columna (Etapas de equilibrio)**
  - Reflujo mínimo: $R_{MIN} / (R_{MIN} + 1) = (x_D - y_F) / (x_D - x_F)$
  - Usar $R = 1{,}2\ R_{MIN}$ (~ $N = 2\ N_{MIN}$)
  - Eficiencia de plato: (60 a 75% por plato; 40 a 90% global)

    Primera aproximación 50% ($N_{REAL} = 4\ N_{MIN}$).

- **Dimensionamiento de columna**
  - Separación entre platos: 2 ft (0,6 m); 1,5 ft si altura > 150 ft (45,7 m)
  - Relación empírica Diámetro de la torre a servicio del rehervidor

Situación	Servicio del Rehervidor 10^6 Btu/h
A presión	$0{,}5\ D^2$
Presión atmosférica	$0{,}3\ D^2$
Al vacío	$0{,}15\ D^2$

  - Destilación atmosférica: Velocidad de vapor = 3 ft/s

    Pérdida de carga = 3 plg H_2O / plato

Características y costo de equipos de la Unidad de separación de gases livianos.

	E-201	E-202	E-203	E-204	T-201	T-202	P-201ª/B	P-202ª/B	V-201	V-202
Tipo	Cabezal Flotante				Torre	Torre	B. Centrífuga	B. Centrífuga	Horizontal	Horizontal
Area (m^2)	155	45	85	20	--	--	--	--	--	--
P Carcaza (barg)	15	4	5	4	--	--	--	--	--	--
P Tubos (barg)	4	15	4	5	--	--	--	--	--	--
Material	CS	CS	CS	CS	CS	CS	Cast steel	Cast steel	CS	CS
Diámetro (m)	--	--	--	--	0.95	1.00	--	-	1.25	1.25
Log ó Alt (m)	--	--	--	--	19.0	21.0	--	--	3.75	3.75
Presión (barg)	--	--	--	--	15	5	--	--	15	5
Internos	--	--	--	--	36 Sieve	40 Sieve	--	--	--	--
Material					SS	SS				
Potencia (kW)	--	--	--	--	--	--	1.3	1.2	--	--
P Succión (barg)	--	--	--	--	--	--	16	6	--	--
C_P (2003)	**19309**	**9669**	**13554**	**6641**	**45389** **24071**	**51575** **27434**	**2(4305)**	**2(4195)**	**6733**	**6733**
C^o_{BM} (2003)	**64703**	**32152**	**44727**	**21915**	**277998**	**257547**	**2(22829)**	**2(18951)**	**28713**	**22195**

Total Costo compra de equipos	**$\Sigma\ C_P$**	**228000**
Total costo directos e indirectos de Planta Base (CS @ 0 barg)	**$\Sigma\ C_{BM}$**	**700000**
Total costos directos e indirectos de Planta	**$\Sigma\ C^o_{BM}$**	**834000**
Costos sistema de proceso integrado	**$C_{TM} = 1,18\ \Sigma\ C^o_{BM}$**	**984000**
Costo de planta instalada en terreno (Método Turtón et al.)	**$C_{GR} = C_{TM} + 0,35\ \Sigma\ C_{BM}$**	**1229000**
Costo de planta instalada en terreno (Método Happel et al.)	**C_{GR} (Inversión total) = $1,56\ \Sigma\ C^o_{BM}$**	**1301040**
Costo de planta instalada en terreno (Factor de Lang)	**$C_{GR} = 4,74\ \Sigma\ C_P$**	**1078440**
COSTO PROMEDIO Y DESVIACIÓN	**1.202.727 $\pm$ 92.740 (Error $\cong$ 8%)**	

Costos de Producción.

$$C = F_I + F_Q + F_L$$

- **F_I = a.I_F** ***Proporcionales al Inmovilizado***
  - Mantenimiento
  - Gastos de seguridad
  - Servicios generales
  - Servicios administrativos
- **F_Q = b.Q** ***Proporcionales al volumen de producción***
  - Costos de materias primas e insumos
  - Costos de servicios generales
  - Costos de mantenimiento
  - Costos de almacenamiento
- **F_L = c.L** ***Proporcionales a Mano de Obra***
  - Mano de obra directa
  - Gerencia
  - Gastos adicionales.

Costos de Producción: Listado típico.

<u>Materias Primas</u>

Tres o mas volumenes de producción

<u>Mano de obra</u> Directa

Iindirecta

<u>Mantenimiento</u>

Proporcional a Inversión directa

<u>Servicios Industriales</u>

Precio de los servicios industriales

<u>Seguro</u>

Generalmente 1% de Inversión Directa

<u>Contingencias</u>

10% Costos fijos de operación

Estimación del coste de producción

Estimador ______ Fecha ______

Producto ______ Volumen de producción (libras/año) ___ ___ ___

Inversión (dólares) ___ ___ ___

Localización ______ Produciendo días/año ______

Cálculo de costos de materias primas

Base: ______ libras/año

Materias primas	Unidad	Precio por unidad	Gasto lb/lb de producto	Total (libras/año)	Total coste (dólares/año)	Coste por libra de producto (centavos/libra)
	Tons	dól.				
	libras	cent.				
	Mpie^3	cent.				
		Total c[...]aterias primas				

Volumen de producción (lb/año)						
Necesidades mano de obra						
Operadores/turno						
Turnos/semana						
Horas por semana/hombre						
Horas supervisión/semana						
	dólares/año	cent./libra	dólares/año	cent./libra	dólares/año	cent./libra
Total coste materias primas 1						
Otros costes de fábrica						
Mano de obra directa hr@ dól./hr						
Supervisión @ % de MOD						
Total costos mano de obra 2						
Costos de servicios auxiliares						
Vapor @ cent./M libra						
Electricidad @ cent./kw-hr						
Agua de proceso @ cent./Mgal						
Agua de refrigeración @ cent./Mgal						
Aire @ cent./M pie^3						
Gas @ cent./M pie^3						
Refrigeración @ dólares/						
Total costos servicios auxiliares 3						
Costos indirectos						
Beneficios sociales @ 35%MOD						
Almacenes y suministros @ 20% MOD						
Control y laboratorio @ 25% MOD						
Seguridad @ 20% de MOD						
Conservación @ 10% de MOD						
Mejoras del proceso @ 15% de MOD						
Total costes indirectos 4						
Mantenimiento @ % de Inv						
Coste total de elaboración 2 + 3 + 4 + 5						
Coste total de materias primas más elaboración 1 + 2 + 3 + 4 + 5						
Gastos generales de la planta						
Impuestos y seguros (planta) @ 1% de Inv.						
Amortizaciones						
Otros gastos de planta						
Total gastos generales de planta 6						
Coste total en fábrica 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6						
Menos valor subproductos						
Costo neto en fábrica a granel						
Coste de envasado						
Coste neto en fábrica						